

学校编码: 10384
学号: 19920111152766

分类号_____密级_____
UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

交直流复合激励漏磁检测及其关键技术的
仿真与实验研究

The Simulation and Experiment Research on DC/AC
Composite Excitation MFL and its Key Technology

柳振凉

指导教师姓名: 吴德会 副教授

专 业 名 称: 机械电子工程

论文提交日期: 2014 年 月

论文答辩时间: 2014 年 月

学位授予日期: 2014 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2014 年 月

交直流复合激励漏磁检测及其关键技术的仿真与实验研究

柳振凉

指导教师

吴德会

副教授

厦门大学

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

随着管道、储罐的推广使用，管道、储罐腐蚀泄漏事故频发，漏磁检测成为当前最频繁使用的管道、储罐无损检测技术。本文分析了当前漏磁检测技术主要方向和待解决的问题，并提出了一种交直流复合激励的储罐钢板漏磁检测新技术，旨在实现内、外表面缺陷的自动区分。本文主要工作如下：

(1) 阐述了复合漏磁检测新技术的理论基础，从电磁场麦克斯韦方程组出发，介绍了有限元法及其仿真软件 ANSYS 的基本理论；然后通过 ANSYS 进行复合漏磁检测的三维有限元仿真建模研究，分析复合漏磁检测新技术在区分内、外表面缺陷的可行性。

(2) 探讨了新方法中交流漏磁检测趋肤效应的机制。首先，分析了交流漏磁检测的涡流效应的机制；然后，根据麦克斯韦方程组推导出模型的三维交流漏磁场分布，分析了不同频率下钢板的磁力线分布情况，从而得出交流漏磁检测中趋肤深度的规律。最后，在钢板上加工一系列样板缺陷模拟实际缺陷并开展实际漏磁检测实验，验证三维仿真结果的有效性，对进一步研究该方法的机理提供了理论和试验依据。

(3) 针对新方法实施过程中，检测器振动的关键问题，应用三维有限元分析方法探讨了新方法中提离值对检测结果的影响。首先，根据麦克斯韦方程组推导出缺陷处的三维漏磁场分布；再通过 ANSYS 软件建立振动条件下的漏磁检测三维有限元仿真建模，分析了不同提离值下缺陷漏磁信号的分布。然后，制造一系列人工缺陷并开展实际漏磁检测实验，以验证三维仿真结果的有效性。最后，通过最小化振动和电磁噪声误差，得到不同尺寸缺陷对应的最佳提离取值。

关键词：交直流复合激励， ANSYS，内、外表面缺陷，趋肤深度，提离值

ABSTRACT

With the increase of pipelines and steel tanks, corrosion leakage accidents happen frequently. The magnetic flux leakage (MFL) method is currently the most commonly used pipeline inspection technique. The main direction of magnetic flux leakage testing technique and problems to be solved are analyzed. Thus put forward a new technology of dc/ac composite excitation magnetic flux leakage testing to achieve automatic distinguishing defects of internal surface and external surface. The main contents of this thesis are as follow:

(1) The theoretical basis of new composite excitation magnetic flux leakage testing technology is expounded. The finite element method (FEM) and the simulation software are introduced. Then according to Maxwell equations, the 3-D finite element simulation model of new composite excitation MFL. Finally the feasibility of the distinction between internal surface and external surface defects is analyzed.

(2) The mechanism of deep skin effect in AC MFL inspection has been discussed. Firstly, eddy current effects of AC MFL detection was analyzed. Then, according to Maxwell equations, the 3-D MFL field distributions were deduced, and the distributions of magnetic induction line under different frequency in the steel plate were analyzed, thus the law of skin depth in AC MFL inspection was acquired. Finally, a set of artificial defects was made and the MFL experiments were performed so as to confirm the 3-D simulation results, as well as providing a theoretical and experimental basis to the further study.

(3) Three-dimension (3-D) finite element analysis has been used to examine the effect of lift-off on MFL signals. Firstly, according to Maxwell equations, the 3-D MFL field distributions of defects were deduced. Then, the 3-D finite element simulation model of MFL under the vibration conditions was established in ANSYS and the MFL signals of defects at different lift-off were analyzed. To confirm the 3-D simulation results, a set of artificial defects was made and the MFL experiments were performed. Finally, the best lift-off at different sizes of defects was achieved by minimizing the errors caused by vibration and electromagnetic noise. This research can be used to optimize the detector structure to increase MFL detection measurement accuracy.

Keywords: DC/AC composite excitation; ANSYS; Internal surface and external surface defects; Skin depth; Lift-off

厦门大学博硕士论文摘要库

目录

摘 要	I
ABSTRACT	II
第一章 绪论	1
1.1 课题研究背景及意义	1
1.2 储罐底板无损检测常规方法	2
1.3 国内外研究概况	4
1.3.1 国外研究现状分析	4
1.3.2 国内研究现状分析	6
1.4 论文框架及主要内容	8
第二章 交直流复合激励漏磁检测技术原理分析	9
2.1 直流漏磁检测基本原理	9
2.2 交流漏磁检测基本原理	11
2.3 基于交直流复合激励的漏测检测技术原理	12
第三章 复合漏磁检测技术仿真研究	15
3.1 漏磁检测的数学模型	15
3.2 ANSYSYS 简介	16
3.3 漏磁检测有限元模型	18
3.3.1 物理模型	18
3.3.2 网格划分	20
3.4 漏磁检测边界条件、激励及求解	22
3.4.1 边界条件及激励	22
3.4.2 求解控制及求解	23
3.5 交直流激励复合漏磁检测仿真后处理	26

3.5.1 有限元仿真结果.....	26
3.5.2 内、外表面缺陷的区分.....	31
3.6 本章小结.....	34
第四章 交流漏磁检测趋肤深度机理的研究.....	35
4.1 交流漏磁检测中涡流效应的机理分析.....	35
4.2 交流磁化场分布的仿真分析.....	37
4.2.1 交流漏磁检测三维仿真模型建模.....	37
4.2.2 交流磁化场仿真结果.....	38
4.3 交流漏磁趋肤深度实验验证.....	40
4.4 结论.....	41
第五章 漏磁检测中提离值影响的研究.....	42
5.1 漏磁检测中提离值的影响分析及三维建模.....	42
5.2 仿真模型的验证.....	44
5.3 仿真实验与结果分析.....	46
5.3.1 振动条件下的漏磁检测仿真实验.....	46
5.3.2 实验结果的分析与讨论.....	49
5.3.3 不同参考信噪比条件下最佳提离值.....	51
5.4 本章结论.....	52
第六章 结论与展望.....	55
6.1 结论.....	55
6.2 展望.....	56
参考文献.....	57
致谢.....	64
攻读硕士学位期间的研究成果.....	65

CONTENTS

Abstract in Chinese.....	I
Abstract in English.....	II
Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 The background and significance of the subject.....	1
1.2 Tank floor nondestructive testing routine methods	2
1.3 The reseach in inland and abroad	4
1.3.1 Development of MFL in abroad	4
1.3.2 Development of MFL in inland	6
1.4 Major Contents of Study	8
Chapter 2 AC/DC composite excitation MFL technique	
theory analysis	9
2.1 DC MFL technique theory	9
2.2 AC MFL technique theory	11
2.3 AC/DC composite excitation MFL technique theory	12
Chapter 3 Simulation on AC/DC composite excitation MFL	
technique.....	15
3.1 Mathematical model of MFL	15
3.2 Introduction of ANSYS	16
3.3 FEM model of MFL	18
3.3.1 Physical model	18
3.3.2 Meshing.....	20
3.4 Boundary conditions, excitation and solve	22

3.4.1 Boundary conditions and excitation.....	22
3.4.2 Skin depth of AC MFL.....	23
3.5 Post processing of MFL simulation.....	26
3.5.1 Simulation result	26
3.5.2 Distinction between internal and external surface defects.....	31
3.6 Summary.....	34
Chapter 4 Mechanism of skin depth effect in AC MFL	
inspection	35
4.1 Eddy current effects of AC MFL detection.....	35
4.2 Simulation on AC MFL field distributions.....	37
4.2.1 3-D model of AC MFL	37
4.2.2 AC MFL field distributions simulation.....	38
4.3 Experiment on the skin depth of AC MFL.....	40
4.4 Summary.....	41
Chapter 5 Lift-off effects on MFL testing.....	43
5.1 3-D model of MFL and lift-off effects on MFL testing...43	
5.2 Validation on the simulation	45
5.3 Simulation experiment and result analysis.....	46
5.3.1 Simulation under the vibration conditions.....	46
5.3.2 Analysis and discussion of simulation result	50
5.3.3 Best lift-off under different conference SNR.....	52
5.4 Summary.....	52
Chapter 6 Summary and forecasting	55
6.1 Summary.....	55

6.2 Forecasting.....	56
References	64
Achnowledgement	64
Publication	65

厦门大学博硕士论文摘要库

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库